

補助事業番号 2018M-177

補助事業名 平成30年度 多品種生産に対応した自動注湯ロボットシステムの開発  
補助事業

補助事業者名 山梨大学 大学院総合研究部 野田 善之

## 1 研究の概要

本研究では、多品種生産化が進んでいる中小規模の鋳造業にも導入でき、既存の手動注湯設備を活かし、設備投資を抑えつつ注湯工程の自動化を実現する自動注湯ロボットシステムの基盤技術を開発する。汎用機械である天井クレーンとロボットアームをシステムインテグレーションし、注湯作業の自動化を実現することで、設備投資を抑えつつ、既存の手動注湯設備を活かすこともできる。

## 2 研究の目的と背景

鋳造産業における注湯工程は高温の溶融金属を鋳型へ注ぐ工程であり、作業者にとって危険かつ過酷な作業環境である。そこで、近年では注湯工程への自動化設備の導入が進められている。しかしながら、既存の自動注湯機は多大な設備投資が求められることや多品種生産への対応が困難になっていることから、中小規模の鋳造業への普及には至っていないのが現状である。少子高齢化の影響や代表的な3K職場と言われていることから、鋳造業の就業者が減少しており、中小規模の鋳造業にも適用できる自動注湯設備の開発は喫緊の課題となっている。

そこで、本研究では、設備投資を抑制しつつ、自動化技術を導入できることを目的に、汎用機械である天井クレーンとロボットアームをシステム統合し、かつ多品種生産化に対応した自動注湯ロボットシステムの基盤技術を確立する。特に、クレーンとロボットアームの協調制御による注湯動作制御、および注湯作業者の注湯流量データを教示データとした注湯流量制御技術を開発し、これらの制御技術を統合することで多品種生産化に対応できる自動注湯システムを実現する。そして、自動注湯ロボットシステムのプロトタイプを製作し、開発した制御技術の有用性を検証する。

## 3 研究内容

### (1) クレーンとロボットアームを用いた自動注湯ロボットシステムの開発 ([http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study\\_robot.html](http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study_robot.html))

クレーンとロボットアームのシステム統合による自動注湯ロボットシステムを開発した。ロボットアームに実時間モーションコントロールが可能なデンソー製6軸垂直多関節ロボットVP6242を用いることで、外部コントローラからの指令に応じて所望の動作が可能になった。そして、ロボットの先端に取鍋容器を設置し、取鍋容器を傾動することで取鍋内液体を注湯することができる。取鍋容器とロボット先端の間に力覚センサを搭載することで取鍋内液体の重量を計測することができる。図1にロボットアーム単体で自動注湯を実施している写真を示す。また、液体の入った取鍋容器の重量はロボットの可搬重量を超えるため、ロボット

単体での注湯動作は不可能である。そこで、図2に示すようにクレーンを用いて取鍋容器を吊持し、ロボットの動作に応じてクレーンも動作する注湯ロボットシステムを開発した。また、所望の注ぎ方を実現するために、注湯数理モデルの逆モデルによる注湯流量制御を開発し、ロボットシステムへ実装した。ロボットシステムによる注湯実験により、高精度に所望の注湯流量へ注湯できることを示した。

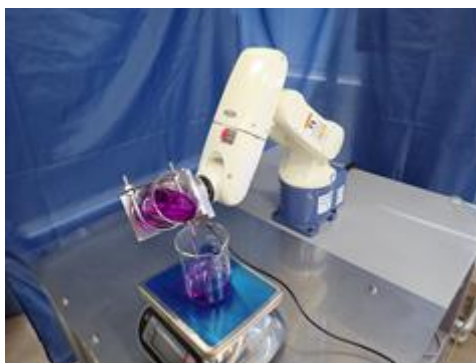


図1 ロボットアームによる自動注湯



図2 クレーンとロボットアームによる注湯作業

(2) 教示データに基づいた注湯流量制御の開発

([http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study\\_robot.html](http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/study_robot.html))

熟練技能者が行う手動注湯作業による注湯流量を教示データとして、注湯ロボットシステムで再現する注湯制御システムを開発した。図3に示すように手動注湯における取鍋容器からの液体流出重量をロードセルで計測し、取鍋容器の傾動角度を姿勢角センサで計測する。そして、液体流出重量および取鍋容器の傾動角度が拡張カルマンフィルタを用いて注湯流量推定を行った。推定結果を図4に示す。推定された注湯流量を教示データとして、注湯数理モデルの逆モデルによる注湯流量制御で注湯ロボットシステムを用いて再現



図3 手動注湯に対する注湯流量推定

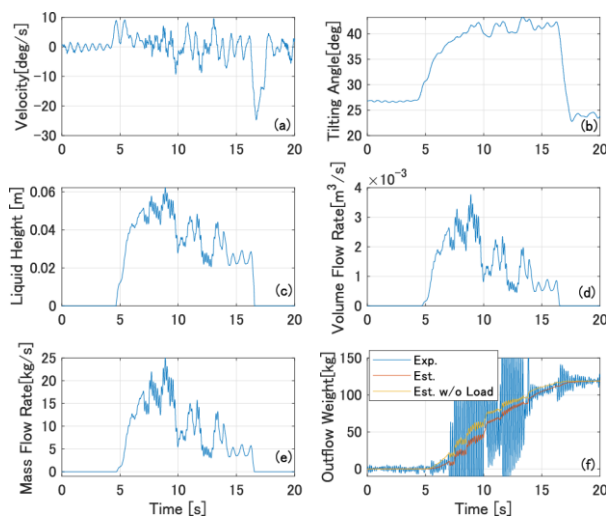


図4 注湯流量推定結果

した。図5に示すように、注湯実験において、注湯ロボットシステムに手動注湯における注湯流量推定、および推定流量を教示データとした注湯流量制御を実装することで、人による手動注湯を高精度に再現する注湯ロボットシステムを実現した。

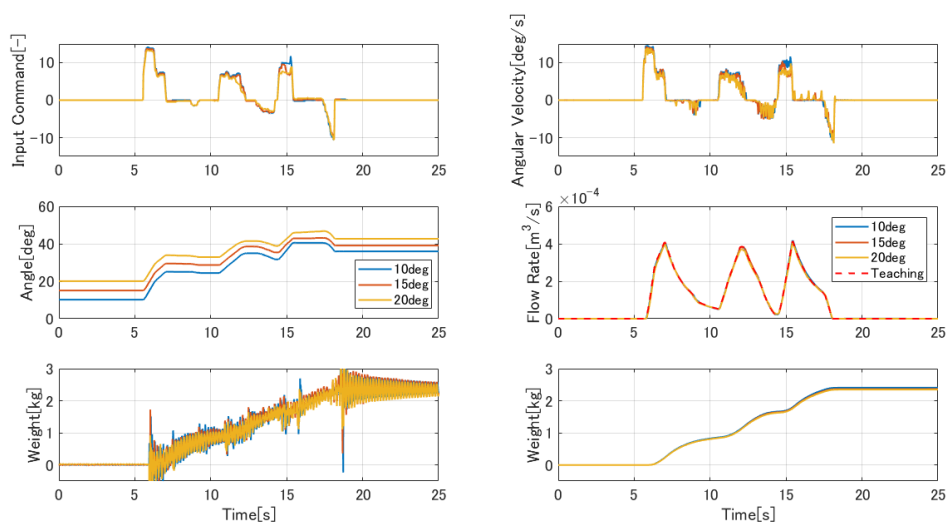


図5 注湯ロボットシステムによる注湯作業の再現実験の結果

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では、クレーンとロボットアームを用いて自動注湯ロボットシステムを実現した。これにより、クレーンおよびロボットアームなどの汎用機械のシステム統合によって注湯作業の自動化が可能になることを示した。この成果は、従来の設備投資が大きいライン生産化向けの自動注湯機に対して、ライン生産化を必要としないことや手動注湯と共用できる点でライン生産化が困難であった中堅、中小鑄造企業の注湯作業の自動化が可能になることを示しており、実用化に向けた取り組みが期待できる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

自動注湯機に関する研究開発を現在までにおいて15年取り組んでいる。これまで、自動注湯機の高精度化に寄与する制御システムの開発に取り組んできたが、自動注湯機の普及に貢献するには至らなかった。本研究では、中小規模の鑄造業にも導入が可能な注湯ロボットシステムの開発であり、今後は実用化開発に向けた取り組みが促進するものと思われる。工学研究において、実用化実績は重要であり、本研究の成果は研究歴において貴重な機会が得られるものと思われる。また、実用化実績は工学教育においても重要であり、実用化に向けたプロセスなどを体系化し、講義に取り組んでいくことを検討している。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(発表論文)

・Training Simulator for Acquiring Operational Skill to Operate Overhead Traveling Crane while Suppressing Load Sway, Shock and Vibration, doi:10.1155/2019/3060457, 2019 (2019年5月13日掲載)

・Implementation and Experimental Verification of Flow Rate Control Based on Differential Flatness in a Tilting-Ladle-Type Automatic Pouring Machine, Applied Sciences, Mechanical Engineering Section, doi:10.3390/app9101978, 2019 (2019年5月14日掲載)

・鋳造業の注湯作業における注湯流量推定と作業評価, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2020 研究発表論文(2020年5月26日発表)

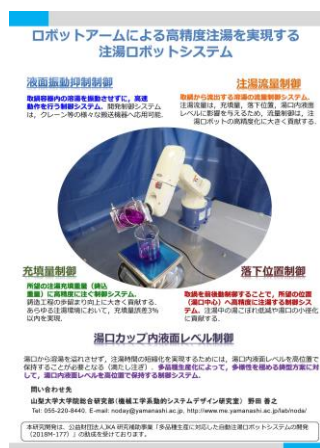
(特許)

・特許出願:特願2020-012528「注湯状態の推定システム」

## 7 補助事業に係る成果物

### (1)補助事業により作成したもの

本研究開発のパンフレット (<http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/pouringrobot.pdf>)



(2)(1)以外で当事業において作成したもの  
なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山梨大学 大学院総合研究部

(ヤマナシダイガク ダイガクインソウゴウケンキュウブ)

住 所: 〒400-8511

山梨県甲府市武田4-3-11

担 当 者: 教授 野田 善之(ノダ ヨシユキ)

担 当 部 署: 工学域機械工学系(コウガクイキキカイコウガクケイ)

E - m a i l: [noday@yamanashi.ac.jp](mailto:noday@yamanashi.ac.jp)

U R L: <http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/noda/>